



**SKRIPSI**

# **Prediksi Performa Marine Diesel 4 Langkah 93 KW dengan Metode Simulasi**

**Abdul Hakam Muwaffaq  
NRP 4214 105 002**

**Dosen Pembimbing:  
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**FINAL PROJECT**

# **Performance Prediction of 4 Stroke Marine Diesel 93 KW with Simulation Methode**

**Abdul Hakam Muwaffaq  
NRP 4214 105 002**

**Supervisor:  
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

# **Prediksi Performa Marine Diesel 4 Langkah 93 KW dengan Metode Simulasi**

### **Skripsi**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**Abdul Hakam Muwaffaq**  
**NRP. 4214 105 002**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi:

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad. Fathallah, M.Eng., Ph.D.  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



**SURABAYA**  
**Juli, 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

# **Prediksi Performa *Marine Diesel* 4 Langkah 93 KW dengan Metode Simulasi**

### **Skripsi**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Abdul Hakam Muwaffaq**

**NRP. 4214 105 002**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**

**NIP: 1977 0802 2008 01 1007**

# **Prediksi Performa Marine Diesel 4 Langkah 93 KW dengan Metode Simulasi**

**Nama Mahasiswa** : Abdul Hakam Muwaffaq  
**NRP** : 4214 105 002  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing 1** : Ir. Aguk Zuhdi M F, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Desain marine diesel 4 langkah telah berhasil dilakukan. Sebelum dibangun perlu diprediksi performanya. Prediksi dilakukan dengan menggunakan metode simulasi. Metode ini dianggap paling efektif karena dilakukan tanpa membangun mesin terlebih dahulu. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* atau aplikasi. Simulasi model mencakup seluruh bagian mesin yakni *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*. Prediksi performa mesin dilakukan berdasarkan variasi putaran mesin 1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2200, 2300 rpm, dan setiap putaran dilakukan pembebanan 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, dan 110%. Hasil Simulasi berupa karakteristik performa mesin (seperti, torsi, daya, sfoc, bmep), dan karakteristik proses pembakaran (seperti *heat release*, *pressure*, *ignition delay*). Dari simulasi didapatkan hasil sfoc terhemat terjadi pada putaran 1700 rpm dengan 228.24 gr/kWh. Brake power terendah adalah 42.24 kW pada putaran 1000 rpm, dan tertinggi sebesar 96.37 kW pada putaran 2200 rpm. Maksimum *brake torque* sebesar 446.473 Nm pada putaran 1600 rpm. *Brake mean effective pressure* (bmep) tertinggi pada 1600 rpm dengan nilai 14.30 bar. Tekanan tertinggi pada silinder terjadi pada beban 100% (*full load*), nilai tekanan tertinggi adalah 120.04 bar pada *crank angle* 8.63 derajat. *Ignition*

*delay* terpendek terjadi pada putaran 2200 rpm dengan durasi 0.0315 milisecond dengan pembebanan 20%. Dan heat release yang terjadi mempunyai nilai terbesar adalah 0.0284 j/kg/CA terjadi pada sudut engkol 7.52°.

***Kata Kunci:*** *Marine Diesel, performa, simulasi, pemodelan*

# **Performance Prediction of 4 Stroke Marine Diesel 93 KW with Simulation Methode**

**Student Name** : Abdul Hakam Muwaffaq  
**NRP** : 4214 105 002  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Supervisor** : Ir. Aguk Zuhdi M F, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Four-stroke marine diesel design has been successfully carried out. Before build the engine, we needs to predict its performance. Prediction is done using simulation methods. This method is the most effective because it is done without building the engine. Modeling and simulation use the software or applications. Simulation models covers all parts of the engine cycle consisting of intake, compression, power and exhaust. Performance prediction of the engine is based on engine speed variations 1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2200, 2300 rpm, and the engine load 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, and 110%. Simulations can produce the engine characteristics such as torque, power, sfoc, bmep, and combustion characteristics such as heat release, pressure, ignition delay. The result during the simulation, the minimum and economic of specific fuel oil consumption occured at 1700 rpm with 228.24 gr/kWh. Lowest brake power is 42.24 kW at 1000 rpm, and the highest was 96.37 kW at 2200 rpm. The maximum brake torque of 446 473 Nm at 1600 rpm. Brake mean effective pressure (BMEP) at 1600 rpm with a highest value of 14.30 bar. The highest pressure in the cylinder occurs at 100% load (full load), the value of the highest pressure is 120.04 bar at 8.63 crank angle degrees. Ignition shortest delay occurs at 2200

rpm rotation with a duration of 0.0315 milliseconds by 20% engine load. And the maximum value of heat release is 0.0284 j/kg/CA at 7.52° crank angle.

**Key words:** *Marine Diesel, performance, simulation, modeling*



# DAFTAR ISI

## HALAMAN JUDUL

## LEMBAR PENGESAHAN

## ABSTRAK ..... i

## ABSTRACT ..... iii

## KATA PENGANTAR.....v

## DAFTAR ISI..... vii

## DAFTAR GAMBAR..... ix

## DAFTAR TABEL.....x

## BAB I PENDAHULUAN .....1

### 1.1 Latar Belakang ..... 1

### 1.2 Perumusan Masalah ..... 2

### 1.3 Tujuan ..... 2

### 1.4 Batasan Masalah ..... 3

### 1.5 Manfaat ..... 3

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....5

### 2.1 Reverse Engineering ..... 5

### 2.2 Prediksi Performa Berbasis Simulasi ..... 9

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....13

### 1.1 Diagram Alir ..... 13

### 1.2 Studi Literatur ..... 15

### 1.3 Pengumpulan data marine diesel 4 langkah 93 KW .... 15

### 1.4 Pemodelan *marine diesel* 4 langkah 93 KW ..... 15

1.5	Validasi data.....	20
1.6	<i>Collective data</i> .....	20
1.7	Analisa data.....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>21</b>
4.1	Spesifikasi Data.....	21
4.2	Grafik Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Daya .....	22
4.3	Grafik Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) .....	23
4.4	Grafik Brake Power.....	24
4.5	Grafik Brake Torque .....	25
4.6	Grafik Brake Mean Effective Pressure (bmep) .....	26
4.7	Engine Envelope .....	27
4.8	Pengaruh Beban Terhadap Tekanan Ruang Bakar Pada Putaran Konstan .....	28
4.9	Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Tekanan Ruang Bakar Pada Beban Penuh.....	29
4.10	Tabel Ignition Delay.....	30
4.11	Grafik Ignition Delay .....	31
4.12	Heat Release.....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>33</b>
5.1	Kesimpulan .....	33
5.2	Saran.....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>35</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>37</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	14
Gambar 3.2 Skema pemodelan marine diesel	16
Gambar 4.1 Konsumsi bahan bakar pada setiap putaran terhadap daya dengan variasi putaran.....	22
Gambar 4.2 Grafik fuel consumption Vs engine speed full load (100%) dengan 80% load.....	23
Gambar 4.3 Grafik brake power Vs engine speed.....	24
Gambar 4.4 Grafik brake torque Vs engine speed.....	25
Gambar 4.5 Mean effective pressure Vs engine speed.....	26
Gambar 4.6 Engine Envelope pada berbagai variasi beban .....	27
Gambar 4.7 Pengaruh beban terhadap tekanan ruang bakar pada putaran 2200 rpm .....	28
Gambar 4.8 Pengaruh perubahan putaran mesin terhadap tekanan ruang bakar pada beban penuh.....	29
Gambar 4.9 Ignition delay yang terjadi pada silinder 1 terhadap putaran .....	31
Gambar 4.10 Pengaruh ignition delay silinder 1 terhadap beban	31
Gambar 4.11 Heat release pada silinder 1 pada rpm 2200 .....	32

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Data Motor.....	21
Tabel 4.2 Ignition Delay Setiap Putaran Terhadap Pembebanan	30

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat cepat memberi dampak yang baik serta manfaat yang besar bagi manusia dalam berbagai bidang kehidupan. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya peralatan yang telah diciptakan oleh manusia dengan berbagai model, bentuk serta kemampuan dari segi pemakaian yang relatif lebih unggul dibandingkan dengan peralatan-peralatan konvensional. Salah satu terobosan yakni dengan *reverse engineering*, yaitu proses menganalisa produk yang sudah ada sebagai dasar merancang produk sejenis yang bertujuan untuk memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk (Wibowo, 2006).

Motor diesel banyak digunakan untuk kebutuhan penggerak dibidang *marine*, hal ini karena bentuk yang kompak dan ekonomis. Untuk *marine diesel engine* dengan daya 93 kW banyak dibutuhkan untuk kapal dengan tonase antara 15-20 GT (khususnya untuk kapal penangkap ikan). Terkait dengan salah satu riset dari laboratorium motor bakar dalam, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember maka diperlukan sebuah analisa terkait performa *marine diesel* yang telah dibangun sebelumnya dengan metode *reverse engineering*.

Untuk mengetahui performa motor diesel dapat dilakukan melalui beberapa parameter yakni, efisiensi, geometrical properties dan parameter unjuk kerja lainnya. Efisiensi motor ditunjukkan dengan efisiensi termal, efisiensi mekanik efisiensi volumetrik, dan

efisiensi relatif, kecepatan rata-rata piston, daya output spesifik, konsumsi daya spesifik, *intake valve mach index*, kecepatan (RPM), torsi, rasio udara/bahan bakar dan nilai kalori bahan bakar.

Terkait dengan permasalahan tersebut, maka kajian ini akan dilakukan akan dilakukan untuk menganalisa performa *marine diesel engine* 4 langkah 93 kW yang telah dirancang sebelumnya. Dalam menganalisa performa motor diesel dapat dilakukan dengan metode eksperimen dan simulasi. Tetapi dengan metode eksperimen dibutuhkan biaya yang mahal dan juga dibutuhkan motor diesel yang sudah dibangun/jadi. Oleh karena itu tugas akhir ini dilakukan dengan metode simulasi. Metode simulasi merupakan metode yang dilakukan untuk memperoleh data dengan membuat model komputer untuk motor yang dikaji. Dengan *software* ini akan hasil simulasi berupa grafik maupun gambar profil yang menunjukkan parameter-parameter performa motor diesel yang dikaji.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan utama dalam penelitian ini adalah:

Bagaimana performa *marine diesel* 4 langkah yang telah dirancang dengan metode *reverse engineering*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah:

Mengetahui performa *marine diesel* 4 langkah yang dirancang dengan metode *reverse engineering*.



#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

Hanya memprediksi marine diesel 4 langkah hasil dari perancangan dengan metode *reverse engineering*.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah dapat memberikan informasi tentang *marine diesel* 4 langkah yang dirancang dengan metode *reverse engineering*.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Reverse Engineering**

*Wibowo (2010)* menyatakan bahwa, salah satu metode yang digunakan di dalam merancang sebuah motor adalah *reverse engineering*. *Reverse engineering* adalah proses menganalisa produk yang sudah ada sebagai dasar untuk merancang produk yang sejenis dengan memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk baru tersebut. Dengan kata lain proses *reverse engineering* adalah salah satu metode di dalam merancang sebuah produk baru yang lebih unggul.

*Bagci (2009)*, menyatakan bahwa *reverse engineering* juga dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi sistematis dari suatu produk dengan tujuan replikasi atau pembuatan model baru karena bagian yang rusak umumnya terlalu mahal untuk diganti, atau tidak lagi tersedia.

*Pranggapati (2014)*, membuat kajian tentang *reverse engineering* terhadap *cylinder head marine diesel* 4 langkah 93 kW. Dalam penelitiannya Agung Pranggapati meneliti analisa pengaruh tekanan dan temperatur ruang bakar terhadap tegangan pada *cylinder head marine diesel* 4 langkah 93 kW. Ruang bakar pada motor diesel menghasilkan tekanan dan temperatur tinggi yang dapat menyebabkan tegangan pada *cylinder head*. Kerusakan fatal pada *cylinder head* dapat terjadi karena tegangan yang terlalu besar. Sehingga diperlukan analisa distribusi tegangan yang disebabkan oleh tekanan dan temperatur dari ruang bakar pada hasil desain *cylinder head*. Pada penelitiannya dilakukan analisa tegangan mekanik, thermal, dan total (mekanik-thermal) dengan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) serta pemilihan

material, hingga diperoleh hasil desain *cylinder head* yang optimum.

Sementara itu, Nurbekti (2014), membuat kajian tentang *reverse engineering* terhadap *cylinder liner marine diesel* 4 langkah 93 kW. Penelitiannya adalah analisa pengaruh tekanan dan temperatur ruang bakar terhadap tegangan pada *cylinder liner marine diesel* 4 tak 93 kW. Proses pembakaran pada motor diesel menghasilkan tekanan dan temperatur yang tinggi pada ruang bakar. Hal Ini dapat mempengaruhi tegangan pada *cylinder liner* sehingga menyebabkan kegagalan. Oleh karena itu, desain *cylinder liner* dengan keandalan yang baik diperlukan untuk mendapatkan kinerja yang optimal dari mesin diesel. Berdasarkan pada teknologi perancangan maka diperlukan adanya analisa tegangan akibat tekanan maupun temperatur. Dalam penelitiannya telah dilakukan analisa tegangan mekanis, tegangan termal, dan tegangan termomekanik. *Finite Element Analysis* (FEA) telah digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut dengan mensimulasikan rancangan silinder liner. Sesuai hasil simulasi, telah diperoleh material yang sesuai untuk *cylinder liner*.

Fauzie (2014) menganalisa tegangan piston dan *connecting rod* pada motor diesel 4 langkah 93 kW dengan metode *reverse engineering*. Peneliti melakukan desain berdasarkan mesin yang sudah ada, desain dilakukan dengan menggunakan empat macam material (AlSi 12 CuNiMg forged, AlSi 12 Cu4Ni2Mg, AlSi 18 CuNiMg, AlSi 25 CuNiMg) dengan dua macam model sedangkan pada *connecting rod* menggunakan dua macam material (C-70 dan AlSi 1045) pada satu model yang sama. Dari hasil analisa peneliti bisa mengambil kesimpulan material yang paling kuat untuk mengatasi tegangan maksimal yang terjadi.

Silaban (2014), melalui *reverse engineering* menganalisa katup *marine diesel* 4 langkah 93 kW. Dalam penelitiannya

menganalisa pengaruh temperatur pada *thermal stress* dari katup *inlet* dan *exhaust*. *Reverse engineering* terhadap katup harus dilakukan karena katup merupakan bagian penting dari mesin. Katup selalu menerima temperatur dan tekanan tinggi dari produk pembakaran pada ruang bakar. Hasilnya adalah terjadinya tegangan yang besar pada katup. Oleh karena itu, dalam merancang katup perlu analisis *thermal stress* pada katup *inlet* dan *exhaust*. Langkah pertama penelitian adalah mengkoleksi data performa mesin, seperti tekanan, temperatur pembakaran, dan dimensi katup. Kemudian dengan SolidWorks digunakan untuk merancang sistem cam, salah satu komponennya adalah desain katup. *Software* ANSYS berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) digunakan untuk menganalisis tegangan pada katup. Langkah-langkah untuk menganalisis dilakukan adalah pembentukan *mesh*, input *material properties* dan menetapkan *boundry*. Langkah terakhir adalah analisis *thermal stress* sehingga peneliti dapat menentukan material yang laik untuk digunakan.

Suroso (2014), membuat kajian tentang analisa teknis perbandingan *timing gear*, *timing belt*, dan *timing chain* pada mesin *reverse engineering*. Sistem transmisi mempunyai fungsi untuk meneruskan beban atau torsi. Sistem transmisi meliputi *timing gear*, *timing belt*, dan *timing chain*. Untuk mengetahui torsi roda gigi rantai atau puli yang terhubung langsung dengan *crankshaft* dan *camshaft*, peneliti melakukan perbandingan secara kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan jenis transmisi yang baik untuk diterapkan pada mesin hasil *reverse engineering*.

Sementara Pradana (2014), juga membuat kajian tentang analisa karakteristik sistem bahan bakar pada mesin *Reverse engineering* sebagai lanjutan penelitian yang telah dibuat. Sistem injeksi bahan bakar adalah sebuah teknologi yang digunakan pada

mesin bakar dalam untuk memasukan bahan bakar ke ruang bakar dengan cara diinjeksikan dengan tekanan. Penulis bermaksud untuk menganalisa karakteristik sistem bahan bakar pada mesin Cummins 4BT.39. Dengan analisa teknis dan teoritis yang, penulis memberikan hasil maksimal. Metode pertama yang digunakan adalah menganalisa dan mencari jenis atau part komponen pada bagian sistem bahan bakar mesin referensi. Hal selanjutnya adalah penggambaran skema sistem bahan bakar dan sistem aliran bahan bakarnya. Seperti apa alur sistem bahan bakar mesin Cummins 4BT3.9. Hasil dari pencarian part atau komponen kemudian dijelaskan mekanisme kerja dari sistem bahan bakar yang telah dilakukan penggambaran. Kemudian *Rachmawan* (2014), Menganalisa pengaruh *Flywheel* dan *Firing Order* Terhadap Proses Kerja Mesin Diesel.

Setelah bagian-bagian marine diesel dirancang, maka selanjutnya adalah mendesain seluruh bagian mesin menjadi satu kesatuan. *Raharjo* (2015), menggabungkan seluruh bagian-bagian yang direncanakan sebelumnya kemudian dikonfigurasi dengan perangkat tambahan sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh. Peneliti menggunakan bantuan aplikasi Solidwork untuk merancang. Pendesaianan dilakukan setiap satu per satu dari bagian mesin. Kemudian setelah selesai desain mesin yang utuh dapat dianimasikan/dijalankan. Hasil animasi digunakan untuk mengetahui bahwa bagian-bagian detail mesin sudah sesuai antara satu dengan lainnya.

Dari penelitian yang disebutkan sebelumnya prediksi performa tentang *marine diesel* 4 langkah 93 kW belum dilakukan, oleh sebab itu penelitian ini akan melakukan kajian tentang prediksi performa *marine diesel* 4 langkah 93 kW dari hasil *reverse engineering* .

## 2.2 Prediksi Performa Berbasis Simulasi

Ada beberapa metode untuk memprediksi performa motor diesel berbasis simulasi. *Semin, Ismail dan Bakar* (2008), melakukan investigasi performa pada *diesel engine* berbasis simulasi. Simulasi dan pemodelan untuk penelitian menggunakan bantuan *software* GT-SUITE 6.2. Penelitian dilakukan dengan pemodelan yang didasarkan pada ukuran mesin diesel yang sebenarnya.

*Riegler dan Bargende* (2002) menyatakan bahwa GT-POWER merupakan perangkat lunak untuk simulasi model yang *steady state* dan *transient* dan dapat digunakan untuk menganalisa mesin. Perangkat lunak ini dapat diplikasikan untuk semua tipe mesin pembakaran dalam dan menyediakan beragam model komponen dan konsep canggih lainnya. GT-POWER berjalan berdasarkan dinamika *one-dimensional gass*, aliran, transfer panas pada sistem perpipaan dan komponen lainnya pada mesin.

*Engine rating* biasanya menunjukkan power terbesar, torsi, dan kecepatan maksimum yang mampu diberikan mesin dan memberikan nilai ekonomis, kehandalan, dan daya tahan yang memuaskan.

Berdasarkan *Heywood* (1998), parameter terpenting dalam menganalisa performa motor diesel adalah karakteristik geometri, efisiensi terkait. Efisiensi tersebut yaitu *indicated thermal efficiency*, *brake thermal efficiency*, *mechanical efficiency*, *volumetric efficiency*, *relative efficiency*. Dan parameter performa mesin diesel yang lain adalah *bmep*, *mean piston speed*, *power output*, *sfc*, *air/fuel ratio*.

Oleh karena itu, *Semin, Ismail dan Bakar* (2008), melakukan penelitian prediksi performa berbasis simulasi dengan objek yang

diinvestigasi adalah *brake power*, *brake torque*, *specific fuel oil consumption*, *volumetric efficiency* dan tekanan dalam silinder. Pemodelan dilakukan melingkupi *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*. Output simulasi model memperlihatkan performa mesin yang disimulasikan berdasarkan parameter kecepatan mesin.

Anugerah (2013), juga membuat prediksi performa motor diesel dengan menggunakan acuan *brake power*, *brake torque*, *BMEP*, *SFOC* sebagai parameter yang dianalisa dengan variasi kecepatan motor diesel tertentu. Proses analisa kemudian disimulasikan menggunakan software.

Metode simulasi dan pemodelan selanjutnya adalah menggunakan metode ANN (*artificial neural networks*). Konsep ANN adalah model perhitungan yang muncul sebagai inspirasi dari prinsip kerja sistem saraf biologis. ANN adalah metode yang telah muncul sebagai hasil dari studi tentang pemodelan kemampuan belajar dari neuron pada otak manusia dan yang memiliki kemampuan yang efektif untuk aplikasi optimasi numerik. Dan struktur ANN secara umum tersusun atas *processing components*, *structural distribution* dan *learning rules*.

Paridawati (2014), memprediksi efisiensi menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN), ANN memprediksi efisiensi kerja motor bakar dengan menginvestigasi kecepatan mesin, bukaan *throttle*, *ignition timing*, dan *time injection* sebagai input dan output torsi dan konsumsi bahan bakar.

Aydogan (2015) dalam jurnalnya meneliti tentang prediksi performa mesin diesel menggunakan *artificial neural network* (ANN) dengan *software* MATLAB 2013. Dalam penelitiannya nilai *engine power*, *torque*, *specific fuel oil consumption* diukur berdasarkan hasil eksperimen. Dengan data hasil eksperimen



tersebut *artificial neural network* dibuat dengan bantuan software MATBLAB 2013 dengan menggunakan algoritma *back-propagation*. Dan berdasarkan tersebut maka prediksi performa dapat dilakukan.

Dari beberapa metode yang ada, tugas akhir ini lebih cocok untuk menggunakan metode yang didasarkan pada ukuran mesin diesel yang telah dirancang. Pemodelan dilakukan melingkupi *intake, compression, power, dan exhaust*. Output simulasi model memperlihatkan performa mesin berupa *brake power, brake torque, BMEP, SFOC* yang disimulasikan berdasarkan parameter kecepatan mesin. Simulasi dilakukan berbasis *software* alat simulasi mesin terkemuka yang digunakan oleh pembuat atau pemasok mesin dan kendaraan, dan cocok untuk analisis berbagai permasalahan/isu tentang mesin. (Gamma Technologies, 2004).

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

### **BAB III**

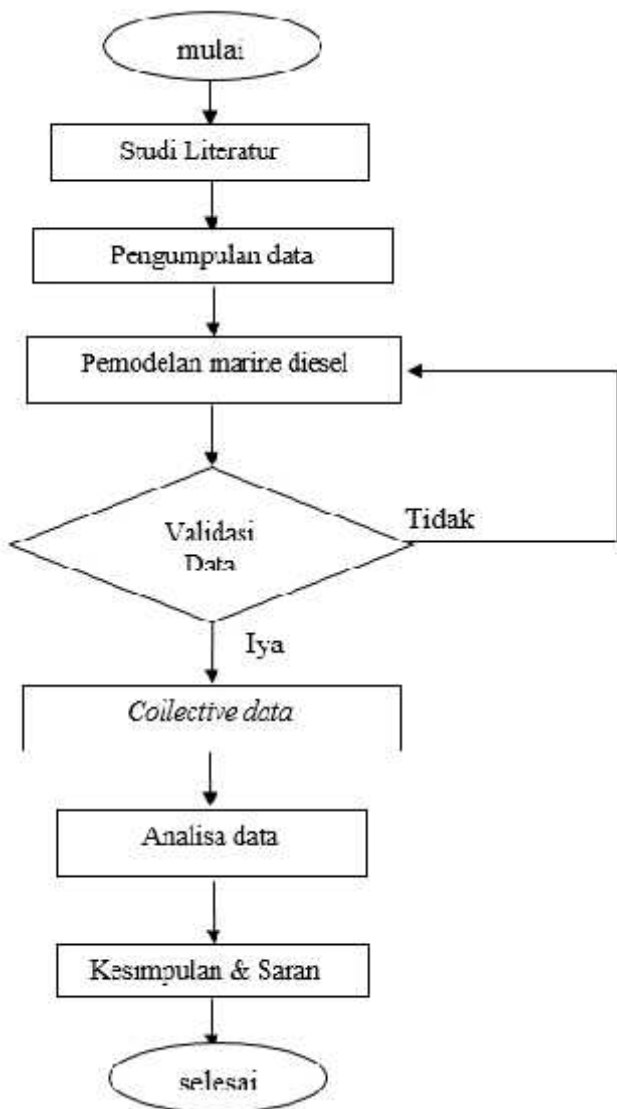
## **METODOLOGI PENELITIAN**

Secara umum metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah diatas adalah dengan menggunakan metode desain menggunakan perangkat lunak/*software* simulasi motor. Pada metodologi ini akan dijelaskan semua kegiatan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan permasalahan penelitian sesuai dengan ruang lingkup dari judul yang dibahas. Detail pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data marine diesel 4 langkah 93 KW
3. Pemodelan marine diesel 4 langkah 93 KW
4. Running simulasi
5. Validasi hasil dan analisa pemodelan

#### **1.1 Diagram Alir**

Untuk *flowchart* pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

## 1.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari paper atau jurnal tentang metode prediksi performa motor marine diesel. Selanjutnya mencari faktor-faktor yang mempengaruhi performa motor yang disyaratkan oleh *software* simulator.

## 1.3 Pengumpulan data marine diesel 4 langkah 93 KW

Setelah pengumpulan materi untuk penyusunan dasar teori, dilanjutkan dengan pengumpulan data berupa dimensi komponen engine yang diperlukan untuk pembuatan model simulasi. Data diperoleh dari perancangan *marine diesel* yang sudah dilakukan.

## 1.4 Pemodelan *marine diesel* 4 langkah 93 KW

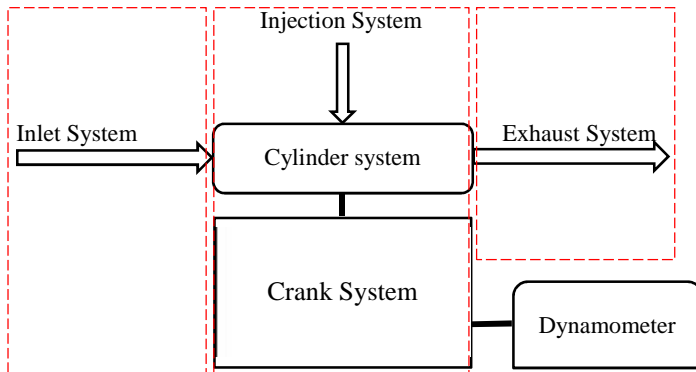
Pemodelan *marine diesel* engine 4 langkah 93 KW dilakukan dengan menggunakan *software*. Pemodelan dilakukan dengan semirip mungkin dengan perancangan yang sudah dilakukan sehingga hasil yang nantinya diperoleh dapat semaksimal mungkin untuk dianalisa.

Pemodelan dan simulasi dilakukan berdasarkan spesifikasi motor yang telah dirancang sebelumnya. Data spesifikasi dasar dapat dilihat pada tabel 4.1. Dalam pemodelan dan simulasi, terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan sehingga menghasilkan data yang valid untuk dianalisa. Tahapan-tahapan untuk pemodelan adalah sebagai berikut:

### 1.4.1 Pengukuran rancangan

Hal yang pertama dilakukan sebelum melakukan pemodelan dan simulasi adalah pengukuran motor diesel yang telah dirancang. Hal ini dilakukan karena aplikasi membutuhkan data secara detil terkait dengan dimensi bagian-bagian motor dan kondisi lingkungan untuk membuat model secara akurat.

### 1.4.2 Pembuatan model per bagian



Gambar 3.2 Skema pemodelan marine diesel

### 1.4.3 Mendefinisikan Objek

Untuk membuat model maka bagian-bagian motor diesel harus dibuat dengan memasukkan data sesuai dengan parameter yang dibutuhkan. Hal ini disebut dengan pendefinisian objek. Pada dasarnya model dibagi atas 3 sistem utama, antara lain: sistem intake, silinder dan sistem injeksi bahan bakar, dan sistem exhaust.

- a. Sistem *intake* terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya:

1. *Inlet Environment*

Langkah pertama adalah membuat batasan kondisi lingkungan, dengan menentukan nilai tekanan, temperatur, dan komposisi udara lingkungan sesuai dengan kondisi normal.

2. Sistem Perpipaan

Dalam pemodelan, aliran udara maupun bahan bakar dalam mesin diesel dialirkan melalui sistem perpipaan. Oleh karena

itu setiap sambungan komponen/pipa harus didefinisikan dimensinya sesuai dengan hasil desain telah dilakukan.

### 3. Kompresor

Marine diesel dirancang menggunakan turbocharge untuk meningkatkan massa udara, salah satu komponennya adalah kompresor. Pemodelan kompresor dilakukan pada bagian sistem *intake*, dan sesuai dengan kompresor map dari spesifikasi kompresor yang dipakai pada mesin.

### 4. *Intercooler*

Setelah udara dikompresi, maka akan terjadi peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur mengakibatkan menurunnya rapat masa udara jika dibandingkan udara bertemperatur rendah dengan volume yang sama. Sehingga diperlukan pendingin untuk menurunkan temperatur. Pemodelan *intercooler* meliputi dimensi pipa inlet dan outlet, material pipa.

### 5. *Intake runner*

Langkah selanjutnya adalah membuat *intake runner* berupa pipa (silinder) yang berfungsi untuk menyambung antara “*Environment*” dengan intake port. *Intake runner* dibuat dengan dimensi dan material yang sesuai.

### 6. *Intake port*

Langkah selanjutnya adalah membuat *intake port*, yang juga berupa pipa (silinder) yang berfungsi untuk menyambung antara *intake runner* dengan *intake valve*. *Intake port* dibuat dengan dimensi dan material yang sesuai.

### 7. *Intake valve*

Pembuatan model katup berfungsi untuk membuat karakteristik dari camshaft dan katup motor diesel. Intake model katup dibuat dengan memasukkan nilai diameter katup, *valve lash*, *cam timing angle*, dan juga *lift arrays*.

- b. Silinder, *crank*, dan sistem injeksi bahan bakar, terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya:

1. Silinder

Untuk membuat model silinder membutuhkan input data seperti, objek referensi, seperti temperatur dinding silinder, aliran fluida, transfer panas, model pembakaran.

2. Injektor bahan bakar

Objek selanjutnya adalah injektor nozzle, untuk motor dengan tipe *Direct Injection Compression Ignition* (DICI) Atribut yang diisi antara lain, temperatur bahan bakar, jenis bahan bakar, sudut mulai terjadi pembakaran, massa bahan bakar yang diinjeksikan.

3. Engine cranktrain

Objek ini mendefinisikan tipe motor, susunan silinder, *firing order*, karakteristik *crankshaft*, dan karakteristik blok motor yang lainnya. Untuk membuat *cranktrain* atribut yang harus diisi pada *cranktrain* antara lain, tipe motor, putaran motor, nilai gesekan, geometri silinder, urutan pembakaran.

4. Dinamometer

Dinamometer dibuat dan dikopel pada sisi *engine cranktrain*. Dinamometer berfungsi untuk mengatur pembebanan pada mesin dengan cara mengganti nilai *load* yang diinginkan untuk pembebanan.

- c. Sistem *exhasut* terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya:

1. *Exhaust valve*

Seperti pembuatan model katup intake, *exhaust valve* juga berfungsi untuk membuat karakteristik dari camshaft dan katup motor diesel. *Intake* model katup dibuat dengan



memasukkan nilai diameter katup, *valve lash*, *cam timing angle*, dan juga *lift arrays*.

## 2. *Exhaust Port*

Selanjutnya adalah membuat exhaust port dari motor. Yang berupa pipa (silinder) yang berfungsi untuk menyambung antara *exhaust port* dengan *exhaust valve*. Atribut utama yang harus diisi antara lain: diameter, panjang, material, nilai kekasaran, temperatur.

## 3. *Exhaust runner*

Langkah selanjutnya adalah membuat *exhaust runner* yang berfungsi untuk menyambung antara “*Environment*” dengan *exhaust port*. Kemudian masukkan data dimensi dan jenis material sesuai dengan pengukuran.

## 4. Turbin

Untuk pemodelan turbin, atribut yang digunakan serupa dengan kompresor yakni, diameter wheel turbin, putaran turbin, turbine map yang dibuat berdasarkan data dari spesifikasi turbin.

## 5. EndEnvironment

Langkah terakhir adalah membuat batasan kondisi lingkungan gas buang pembakaran. Pembuatan dilakukan seperti “*environment*” pada sisi inlet, yakni dengan menentukan nilai tekanan, temperatur, dan komposisi udara hasil sisa pembakaran.

### 1.4.4 Perangkaian objek

Setelah pendefinisian objek selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah perangkaian objek. Objek dirangkai sesuai dengan urutan sistem sehingga membentuk model *marine diesel* yang utuh sesuai dengan skema pada Gambar 3.1.

### 1.5 Validasi data

Pada tahapan ini, proses simulasi belum tentu menghasilkan data yang diinginkan. Parameter yang digunakan sebagai acuan adalah power motor Cummin 4BTA3.9-M125 sebesar 93 kW, jika power sudah sama atau lebih besar, maka model sudah benar. Seandainya data simulasi belum didapat, maka ada kemungkinan terjadi kesalahan dalam proses pengukuran atau perhitungan.

### 1.6 Collective data

Setelah proses pemodelan dan input data selesai dilakukan maka model tersebut siap untuk disimulasikan. *Marine diesel engine* 4 langkah 93 KW disimulasikan dengan variasi yang kecepatan. Dan data yang diperoleh berupa karakteristik performa mesin seperti, torsi, daya, *sfoc*, *bmep*, dan karakteristik proses pembakaran seperti *heat release*, *pressure*, *ignition delay*.

### 1.7 Analisa data

Apabila data telah didapat maka dapat dilakukan ke tahap analisa data. Data hasil model dijalankan pada kecepatan 1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2200, 2300. Simulasi juga dilakukan dengan menggunakan beban yang berbeda-beda, mulai dari 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, dan *overload* 10%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui lebih detail karakteristik performa mesin.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini dijelaskan analisa dan pembahasan penelitian hasil dari running simulasi.

#### **4.1 Spesifikasi Data**

Simulasi dilakukan berdasarkan marine diesel yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya. Dan berikut ini adalah spesifikasi data marine diesel tersebut:

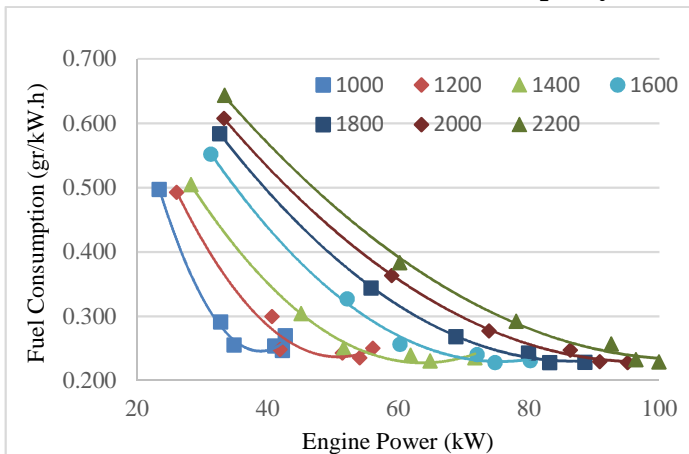
Tabel 4.1 Data Motor

<b>Tipe Motor</b>	Motor Diesel
<b>Tipe Langkah</b>	Empat Langkah
<b>Bore</b>	102 mm
<b>Stroke</b>	120 mm
<b>Panjang Connecting Rod</b>	191.7 mm
<b>Displacement</b>	3.9 lt
<b>Jumlah Silinder</b>	4
<b>Rasio Kompresi</b>	1: 16.51
<b>Putaran</b>	2200 rpm
<b>Pendinginan</b>	Udara

Setiap kali simulasi dijalankan, software simulator menghasilkan beberapa file output yang berisi hasil simulasi dalam berbagai format. Sebagian besar output tersedia dalam aplikasi pengolahan data, yang dapat digunakan untuk melihat grafik dan analisis output. Setelah simulasi selesai, laporan yang merangkum simulasi dapat dibuat. Laporan ini berisi informasi penting tentang simulasi dan hasil simulasi dalam bentuk tabel.

Running simulasi dilakukan dengan kecepatan yang berbeda (rpm). Model dijalankan pada kecepatan 1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2200, 2300. Dalam bab ini hasil running model menghasilkan data *brake power* (bp), *brake torque* (bt), *brake mean effective pressure* (bmep), *specific fuel oil consumption* (sfoc). Simulasi juga dilakukan dengan menggunakan beband yang berbeda-beda, mulai dari 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, dan *overload* 10%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui lebih detail karakteristik performa mesin.

#### 4.2 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Daya

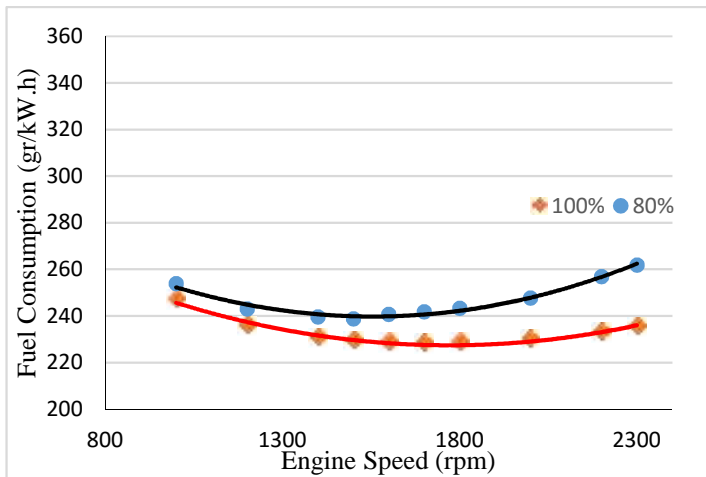


Gambar 4.1 Konsumsi bahan bakar pada setiap putaran terhadap daya dengan variasi putaran

*Specific fuel oil consumption* (SFOC) merupakan salah satu indikator performa motor. Dalam prediksi ini SFOC terhadap daya pada setiap putaran yang dihasilkan model ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Tren grafik konsumsi bahan bakar tiap-tiap putaran cenderung mempunyai kesamaan, yakni pada grafik di atas konsumsi bahan bakar sangat tinggi terjadi pada motor dengan

output daya yang rendah, dan cenderung menurun konsumsi bahan bakarnya pada power yang lebih besar, akan tetapi konsumsi bahan bakar cenderung meningkat kembali pada output power yang tinggi.

### 4.3 Grafik Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

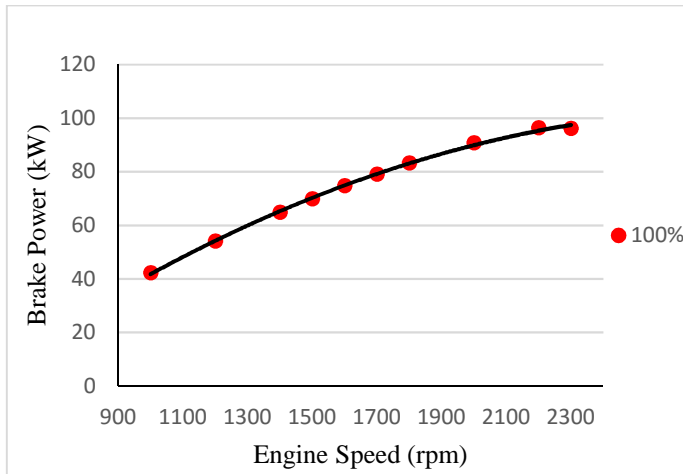


Gambar 4.2 Grafik fuel consumption Vs engine speed full load (100%) dengan 80% load

*Specific fuel oil consumption* (SFOC) merupakan salah satu indikator performa motor. Dalam prediksi ini SFOC yang dihasilkan model ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Pada grafik di atas menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar 100% (*full load*) memiliki konsumsi bahan bakar yang relatif lebih irit dibandingkan dengan 80% load pada putaran yang sama. Sementara secara detail konsumsi bahan bakar pada *full load* relatif tinggi apabila motor digunakan pada putaran rendah sampai 1500 rpm dan juga tinggi apabila motor digunakan pada putaran lebih dari 2000 rpm.

Konsumsi bahan bakar terhemat terjadi pada putaran 1700 rpm dengan pemakaian bahan bakar 228.24 gr/kWh.

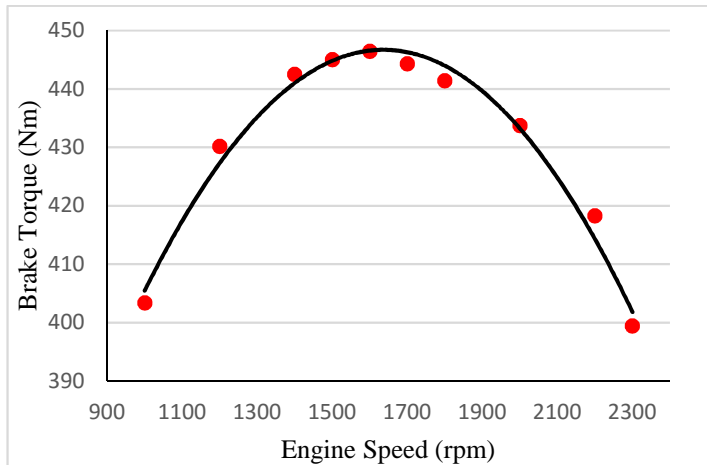
#### 4.4 Grafik Brake Power



Gambar 4.3 Grafik brake power Vs engine speed

Brake power yang dihasilkan model ditunjukkan pada Gambar 4.3. Brake power biasanya diukur dengan menambahkan alat bantu berupa peredam power motor pada poros motor. Alat tambahan tersebut diatur ukuran gaya yang akan melawan gaya dari motor. Brake power dari pemodelan mempunyai tren dengan nilai daya terendah adalah 42.24 kW pada putaran 1000 rpm, dan memiliki nilai daya tertinggi sebesar 96.367 kW pada putaran 2200 rpm, dan setelah putaran ditingkatkan menjadi 2300 rpm daya motor diesel turun menjadi 96.20 kW.

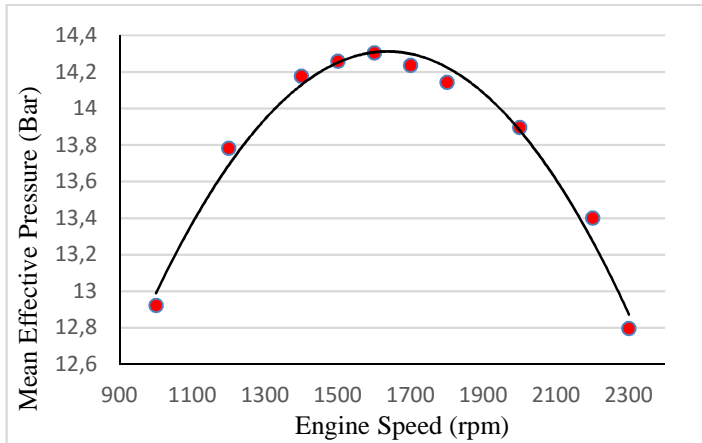
#### 4.5 Grafik Brake Torque



Gambar 4.4 Grafik brake torque Vs engine speed

Pengukuran torsi motor pada eksperimen normalnya dilakukan dengan menggunakan *dynamometer*. Pada simulasi model, *brake torque* ditunjukkan pada Gambar 4.4. Maksimum *brake torque* berada pada putaran 1600 rpm dengan torsi sebesar 446.47 Nm. Sebelum mencapai putaran 1600 rpm torsi motor mengalami penurunan dan meningkat sampai dengan putaran 1600 rpm. Setelah putaran 1600 rpm torsi kembali mengalami penurunan sampai putaran 2300 rpm.

#### 4.6 Grafik Brake Mean Effective Pressure (bmep)

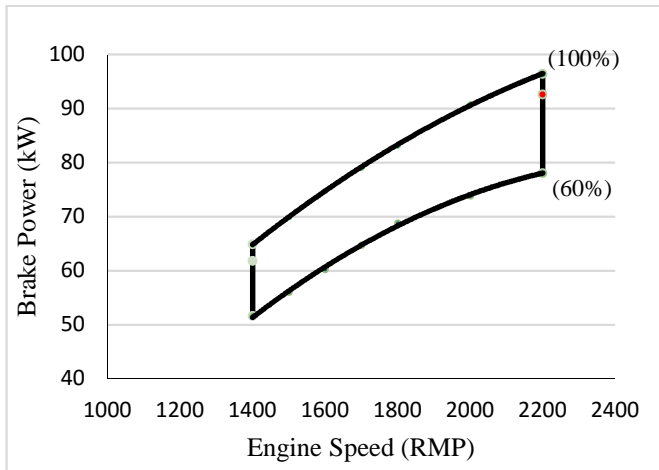


Gambar 4.5 Mean effective pressure Vs engine speed

Gambar 4.5 menunjukkan *brake mean effective pressure* yang dihasilkan dari simulasi model motor diesel. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa bmep tertinggi beradan di putaran 1600 rpm dengan tekanan efektif rata-rata sebesar 14.30 bar. Sebelum dan setelah putaran 1600 rpm, bmep cenderung menurun.



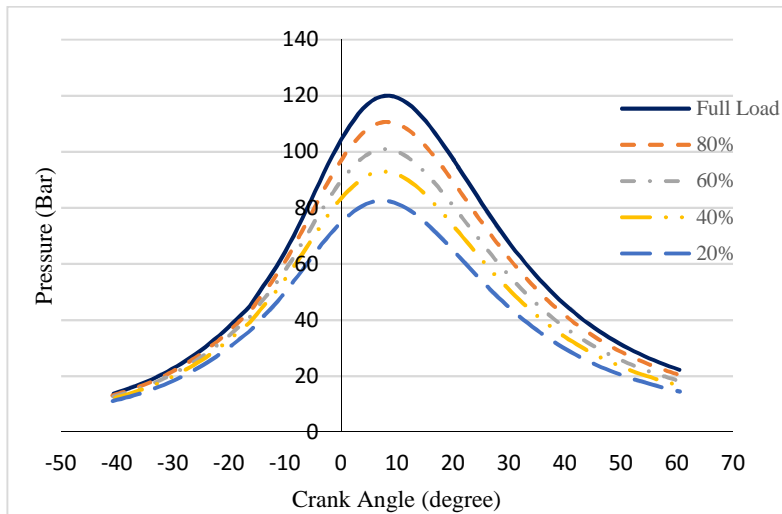
## 4.7 Engine Envelope



Gambar 4.6 Engine Envelope pada berbagai variasi beban

*Engine envelope* merupakan diagram yang menunjukkan performa *engine*. Diagram *engine envelope* menunjukkan pada dengan konsumsi bahan bakar yang relatif sama dengan putaran mesin yang berbeda mampu menghasilkan power yang berbeda-beda. Sehingga dapat dianalisa pemakaian bahan bakar terhemat untuk tiap perubahan putaran.

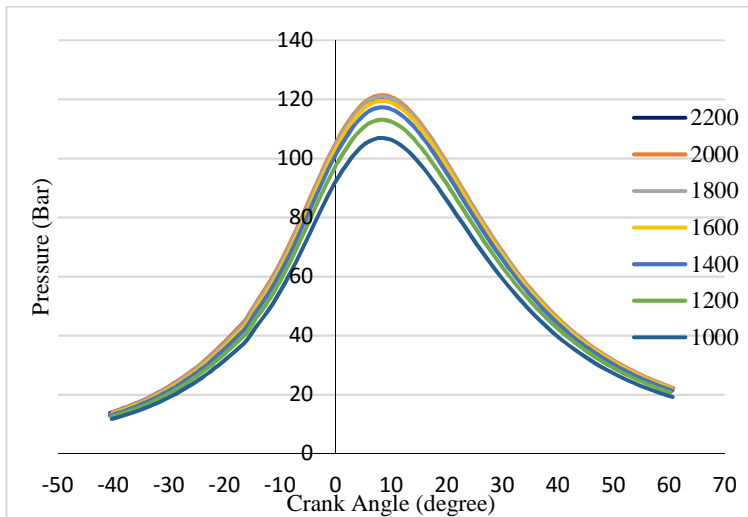
#### 4.8 Pengaruh Beban Terhadap Tekanan Ruang Bakar Pada Putaran Konstan



Gambar 4.7 Pengaruh beban terhadap tekanan ruang bakar pada putaran 2200 rpm

Grafik di atas menunjukkan bahwa tekanan pada silinder dengan variasi beban, tekanan tertinggi silinder 1 terjadi pada beban 100% (*full load*) dan terjadi pada titik mati atas, karena pada tahap ini membutuhkan tekanan yang tinggi untuk melakukan pembakaran. Nilai tekanan tertinggi adalah 120.05 bar pada 8.63°CA ATDC. Tekanan turun seiring dengan turunnya pembebanan pada mesin.

#### 4.9 Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Tekanan Ruang Bakar Pada Beban Penuh



Gambar 4.8 Pengaruh perubahan putaran mesin terhadap tekanan ruang bakar pada beban penuh

Grafik 4.8 adalah grafik yang menunjukkan bahwa dengan variasi putaran, maka Tekanan tertinggi silinder 1 terjadi pada putaran 2000 rpm kemudian cenderung menurun di putaran rendah, dan terjadi pada titik mati atas, karena pada tahap ini membutuhkan tekanan yang tinggi untuk melakukan pembakaran. Nilai tekanan tertinggi adalah 120.19 bar pada 8.61°CA ATDC. Tekanan turun seiring dengan turunnya pembebanan pada mesin.

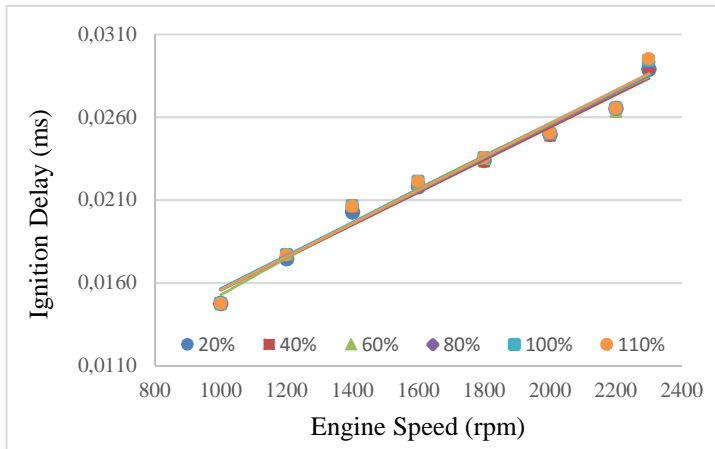
#### 4.10 Tabel Ignition Delay

Tabel 4.2 Ignition Delay Setiap Putaran Terhadap Pembebanan

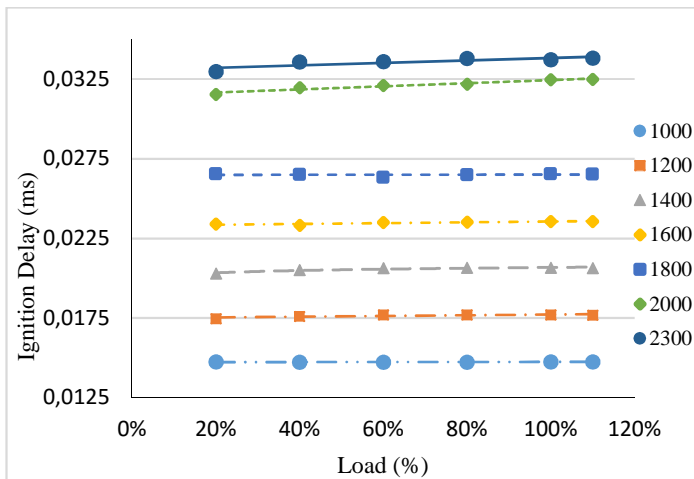
No	RPM Load	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	2000	2200	2300
1	20%	0.014752	0.017474	0.020294	0.021814	0.023395	0.024964	0.026558	0.028913	0.031547	0.032968
2	40%	0.014728	0.017610	0.020514	0.022027	0.023328	0.024882	0.026514	0.029005	0.031972	0.033584
3	60%	0.014726	0.017711	0.020645	0.022038	0.023496	0.025012	0.026342	0.029492	0.032108	0.033599
4	80%	0.014744	0.017711	0.020667	0.022077	0.023532	0.024977	0.026494	0.029350	0.032183	0.033795
5	100%	0.014762	0.017710	0.020658	0.022140	0.023569	0.025006	0.026551	0.029447	0.032473	0.033717
6	110%	0.014760	0.017697	0.020634	0.022120	0.023570	0.025054	0.026545	0.029533	0.032488	0.033825

Ignition delay adalah tenggang waktu atau keterlambatan pengapian, hal ini merupakan parameter yang berpengaruh terhadap performa dan emisi gas buang mesin. Ignition yang baik, adalah yang pendek. Tabel di atas menunjukkan nilai ignition delay dalam satuan milisekon di setiap putaran mesin pada masing-masing pembebanan.

#### 4.11 Grafik Ignition Delay



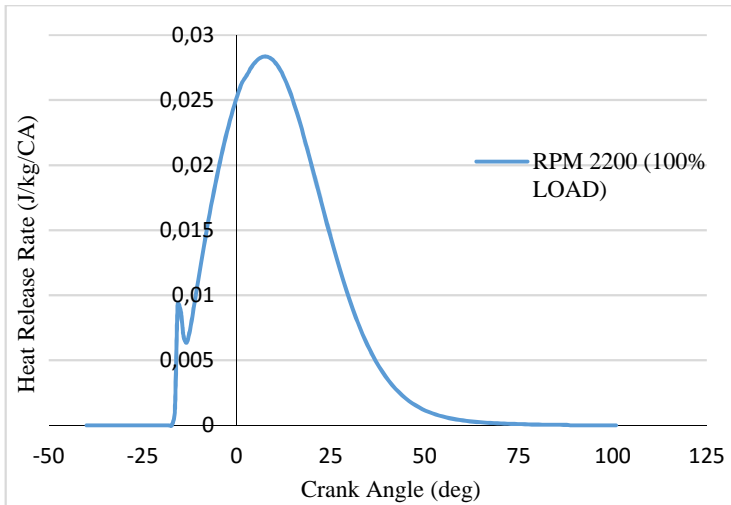
Gambar 4.9 Ignition delay yang terjadi pada silinder 1 terhadap putaran



Gambar 4.10 Pengaruh ignition delay silinder 1 terhadap beban

Ignition delay adalah tenggang waktu atau keterlambatan pengapian, hal ini merupakan parameter yang berpengaruh terhadap performa dan emisi gas buang mesin. Ignition yang baik, adalah yang pendek, pada Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa ignition delay sangat berpengaruh terhadap putaran dan tidak begitu berpengaruh terhadap beban.

#### 4.12 Heat Release



Gambar 4.11 Heat release pada silinder 1 pada rpm 2200

*Heat release* merupakan panas yang dihasilkan akibat pembakaran, pada dasarnya besar nilai *heat release* tergantung pada jumlah konsumsi bahan bakar dan nilai *heating value*. Dari diagram di atas menunjukkan bahwa nilai heat release terbesar adalah 0.0284 j/kg/CA terjadi pada 7.52°CA ATDC.

## LAMPIRAN

### 1.1 Lampiran *Data Sheet* Mesin Validator

#### Cummins Technical Specification



Model: 4BTA3.9-M125 (125hp/2200rpm, HD)

#### GENERAL ENGINE DATA

ENGINE MODEL: **4BTA3.9-M 125**

RATED POWER : **125bhp@2200rpm**

Displacement: **3.9 L** Aspiration: **Turbocharged and water-air aftercooled**

Bore: **102 mm**

Stroke: **120 mm** No. of Cylinders: **4**

Emission Control: **EPA Tier1**

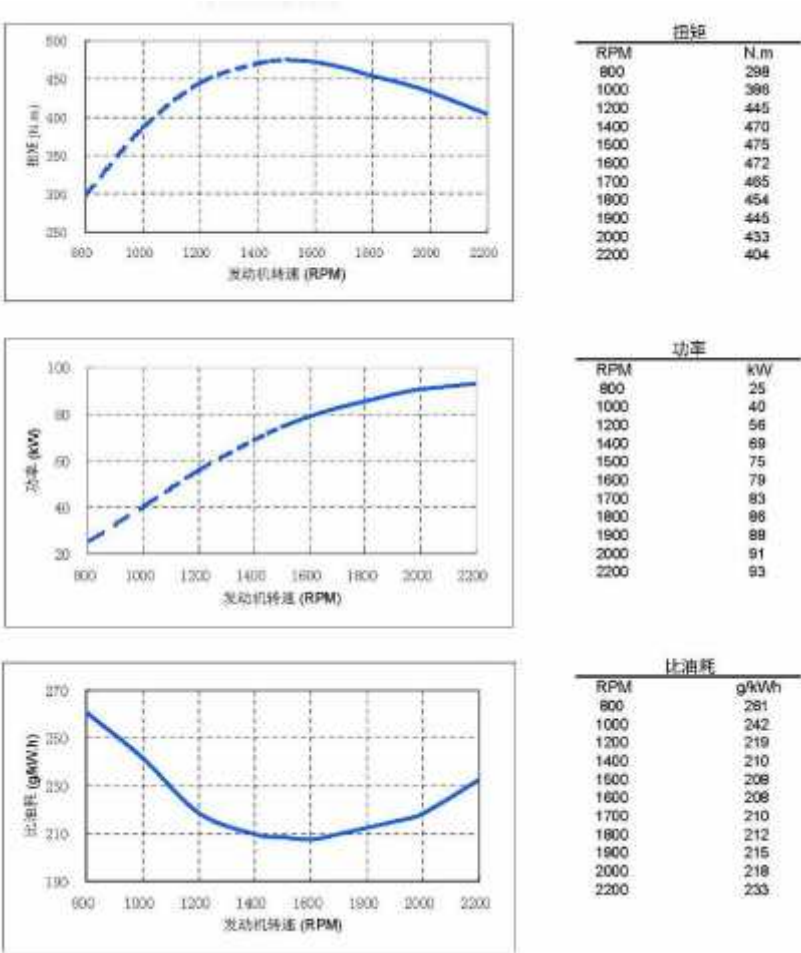
FUEL SYSTEM : **Inline - WEIFU PW/RSV**

Engine Wet Weight (Pricing configuration) .....355kg

Moment of Inertia of Rotating Components ..... 0.143-kg m<sup>2</sup>

Center of Gravity from Front Face of Block..... 262mm

Center of Gravity above Crankshaft Centerline..... 160mm



Gambar 1.1 Data sheet performa mesin validator



## 1.2 Lampiran Pengolahan data

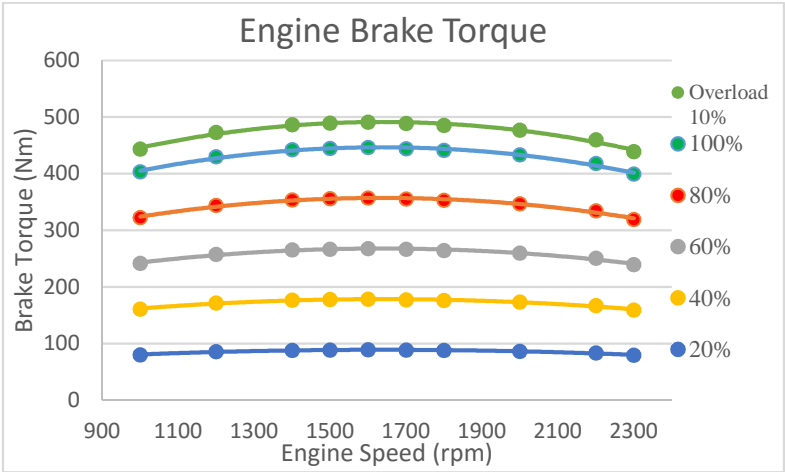
### 1.3.1. Torsi

Tabel 1.2 Torsi fungsi putaran mesin

100%		80%	
RPM (rpm)	Torque (N.m)	RPM (rpm)	Torque (N.m)
1000	403.356	1000	322.685
1200	430.204	1200	344.163
1400	442.489	1400	353.991
1500	445.042	1500	356.034
1600	446.473	1600	357.178
1700	444.337	1700	355.470
1800	441.44	1800	353.152
2000	433.731	2000	346.985
2200	418.289	2200	334.631
2300	399.418	2300	319.534

60%		40%	
RPM (rpm)	Torque (N.m)	RPM (rpm)	Torque (N.m)
1000	242.014	1000	161.342
1200	258.122	1200	172.082
1400	265.493	1400	176.996
1500	267.025	1500	178.017
1600	267.884	1600	178.589
1700	266.602	1700	177.735
1800	264.864	1800	176.576
2000	260.239	2000	173.492
2200	250.973	2200	167.316
2300	239.651	2300	159.767

20%		Overload 10%	
RPM (rpm)	Torque (N.m)	RPM (rpm)	Torque (N.m)
1000	80.671	1000	443.692
1200	86.041	1200	473.224
1400	88.498	1400	486.738
1500	89.008	1500	489.546
1600	89.295	1600	491.120
1700	88.867	1700	488.771
1800	88.288	1800	485.584
2000	86.746	2000	477.104
2200	83.658	2200	460.118
2300	79.884	2300	439.360



Gambar 1.2 Grafik Torsi fungsi putaran mesin pada variasi beban

### 1.3.2. Power

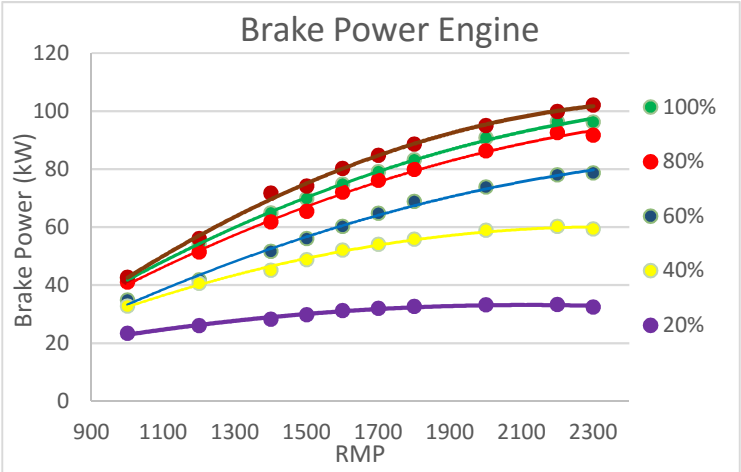
Tabel 1.3 Daya fungsi putaran mesin

100%		80%	
RPM (rpm)	Power (kW)	RPM (rpm)	Power (kW)
1000	42.2393	1000	41.0775
1200	54.0610	1200	51.4373
1400	64.8723	1400	61.8403
1500	69.9070	1500	65.4628
1600	74.8072	1600	72.0383
1700	79.1024	1700	76.2078
1800	83.2094	1800	79.9318
2000	90.8404	2000	86.3456
2200	96.3670	2200	92.6014
2300	96.2020	2300	91.7725

60%		40%	
RPM (rpm)	Power (kW)	RPM (rpm)	Power (kW)
1000	34.8595	1000	32.7754
1200	41.8549	1200	40.6319
1400	51.6011	1400	45.0818
1500	56.0731	1500	48.7425
1600	60.2534	1600	52.1364
1700	64.7733	1700	54.0521
1800	68.8394	1800	55.8310
2000	73.8633	2000	58.9830
2200	78.0596	2200	60.2079
2300	78.7147	2300	59.3576

20%		Overload 10%	
RPM (rpm)	Power (kW)	RPM (rpm)	Power (kW)
1000	23.3584	1000	42.6902
1200	26.036	1200	56.0678
1400	28.2471	1400	71.7298
1500	29.8097	1500	74.1425
1600	31.2736	1600	80.2141
1700	31.9879	1700	84.8135
1800	32.6389	1800	88.5969
2000	33.2567	2000	95.0818
2200	33.3538	2200	99.9268
2300	32.4281	2300	102.124



Gambar 1.3 Grafik Daya fungsi putaran mesin pada variasi beban

### 1.3.3. SFOC

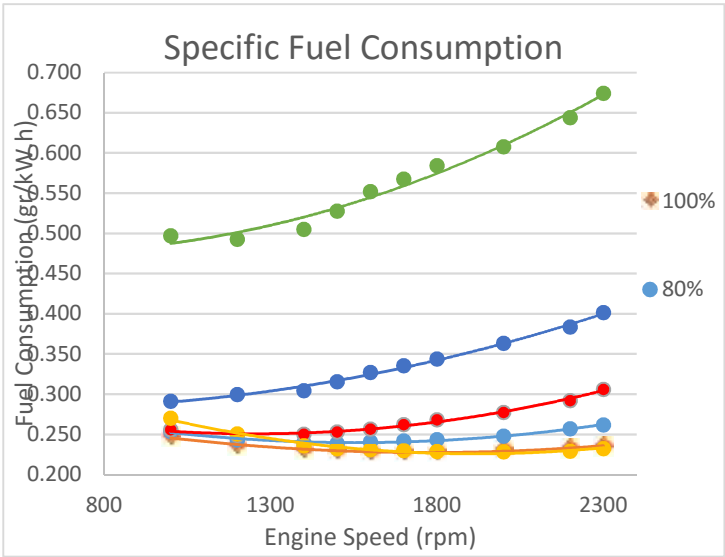
Tabel 1.3 SFOC fungsi putaran mesin

100%		80%	
RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)	RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)
1000	247.163	1000	253.910
1200	235.734	1200	243.059
1400	230.484	1400	239.548
1500	229.161	1500	238.817
1600	228.427	1600	240.619
1700	228.236	1700	241.775
1800	228.436	1800	243.362
2000	229.854	2000	247.687
2200	232.860	2200	256.831
2300	235.255	2300	261.793

60%		40%	
RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)	RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)
1000	255.685	1000	291.198
1200	248.608	1200	299.661
1400	250.338	1400	304.290
1500	253.194	1500	315.419
1600	256.659	1600	327.241
1700	262.192	1700	335.261
1800	268.239	1800	343.951
2000	277.409	2000	363.275
2200	292.217	2200	383.533
2300	306.022	2300	401.655

20%		Overload 10%	
RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)	RPM (rpm)	SFC (gr/kW.h)
1000	497.168	1000	270.149
1200	492.775	1200	250.626
1400	504.991	1400	235.898
1500	527.846	1500	232.439
1600	551.816	1600	230.994
1700	567.368	1700	229.759
1800	584.068	1800	228.907
2000	607.661	2000	228.172
2200	643.788	2200	229.124
2300	674.203	2300	232.125



Gambar 1.4 Grafik SFOC fungsi putaran mesin pada variasi beban

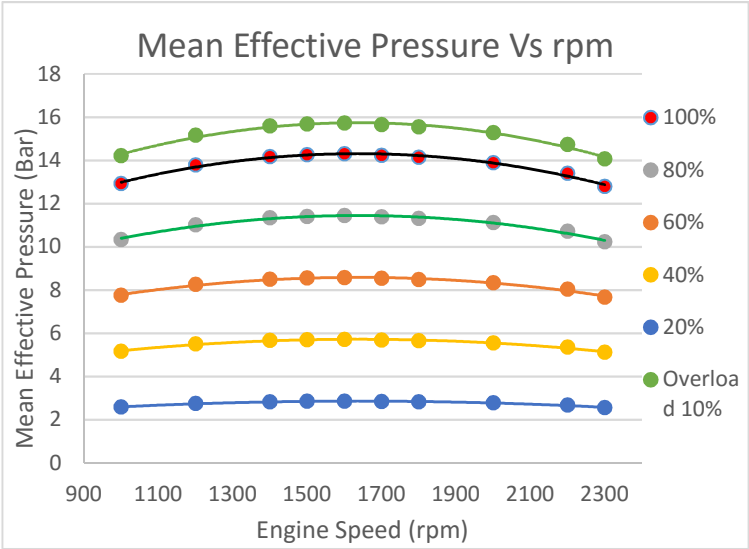
### 1.3.4. MEP (Mean Effective Pressure)

Tabel 1.4 MEP fungsi putaran mesin

100%		80%	
RPM (rpm)	MEP (Bar)	RPM (rpm)	MEP (Bar)
1000	12.9231	1000	10.33850
1200	13.7833	1200	11.02660
1400	14.1769	1400	11.34150
1500	14.2587	1500	11.40700
1600	14.3045	1600	11.44360
1700	14.2361	1700	11.38890
1800	14.1433	1800	11.31460
2000	13.8963	2000	11.11700
2200	13.4016	2200	10.72120
2300	12.7969	2300	10.23750

60%		40%	
RPM (rpm)	MEP (Bar)	RPM (rpm)	MEP (Bar)
1000	7.75388	1000	5.16923
1200	8.26996	1200	5.51333
1400	8.50612	1400	5.67077
1500	8.5552	1500	5.70348
1600	8.58272	1600	5.72181
1700	8.54165	1700	5.69444
1800	8.48597	1800	5.65731
2000	8.33779	2000	5.5585
2200	8.04091	2200	5.36063
2300	7.67817	2300	5.11877

20%		Overload 10%	
RPM (rpm)	MEP (Bar)	RPM (rpm)	MEP (Bar)
1000	2.58461	1000	14.2154
1200	2.75666	1200	15.1616
1400	2.83538	1400	15.5946
1500	2.85172	1500	15.6845
1600	2.86092	1600	15.7350
1700	2.84721	1700	15.6597
1800	2.82866	1800	15.5576
2000	2.77925	2000	15.2859
2200	2.68032	2200	14.7417
2300	2.5594	2300	14.0766



Gambar 1.5 Grafik MEP fungsi putaran mesin pada variasi beban



### 1.3.6. Data hubungan konsumsi bahan bakar dengan daya

Tabel 1.5 Konsumsi bahan bakar terhadap daya pada variasi putaran

1000		1200	
SFC (gr/kW.h)	Power (kW)	SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
247.163	42.2393	235.734	54.0610
253.910	41.0775	243.059	51.4373
255.685	34.8595	248.608	41.8549
291.198	32.7754	299.661	40.6319
497.168	23.3584	492.775	26.036
270.149	42.6902	250.626	56.0678
1400		1500	
SFC (gr/kW.h)	Power (kW)	SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
230.484	64.8723	229.161	69.9070
239.548	61.8403	238.817	65.4628
250.338	51.6011	253.194	56.0731
304.290	45.0818	315.419	48.7425
504.991	28.2471	527.846	29.8097
235.898	71.7298	232.439	74.1425
1600		1700	
SFC (gr/kW.h)	Power (kW)	SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
228.427	74.8072	228.236	79.1024
240.619	72.0383	241.775	76.2078
256.659	60.2534	262.192	64.7733
327.241	52.1364	335.261	54.0521
551.816	31.2736	567.368	31.9879
230.994	80.2141	229.759	84.8135

1800

SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
228.436	83.2094
243.362	79.9318
268.239	68.8394
343.951	55.8310
584.068	32.6389
228.907	88.5969

2000

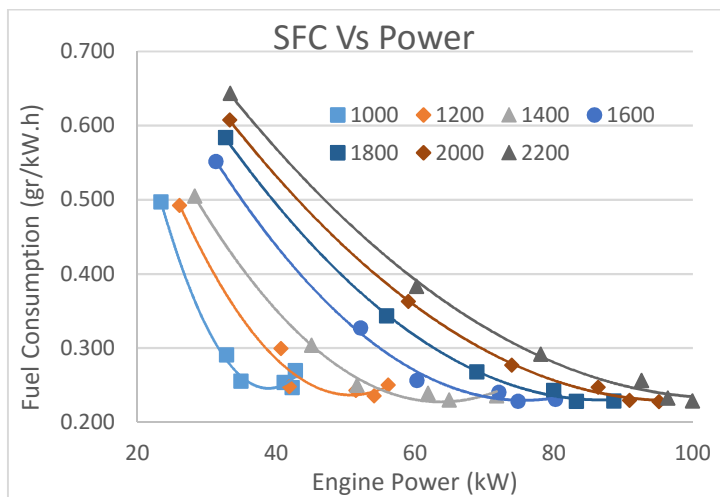
SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
229.854	90.8404
247.687	86.3456
277.409	73.8633
363.275	58.9830
607.661	33.2567
228.172	95.0818

2200

SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
232.860	96.3670
256.831	92.6014
292.217	78.0596
383.533	60.2079
643.788	33.3538
229.124	99.9268

2300

SFC (gr/kW.h)	Power (kW)
235.255	96.2020
261.793	91.7725
306.022	78.7147
401.655	59.3576
674.203	32.4281
232.125	102.124

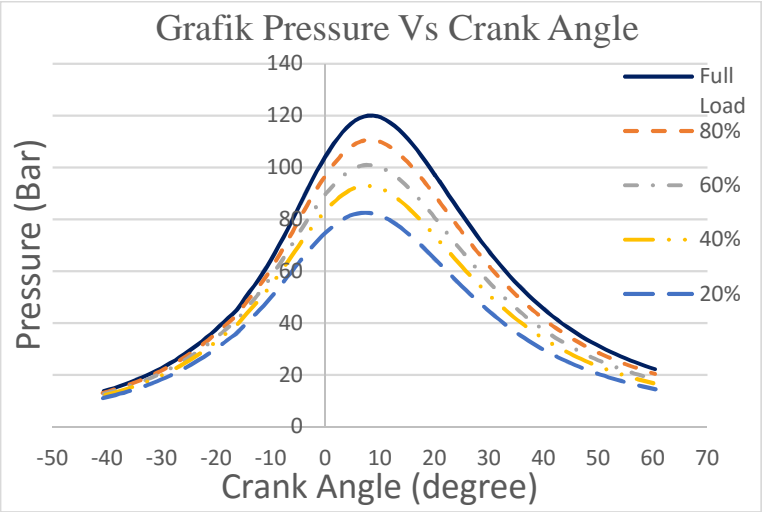


**Gambar 1.6** Grafik Konsumsi bahan bakar terhadap daya pada variasi putaran

### 1.3.6. Pengaruh Beban Terhadap Tekanan Ruang Bakar Pada Putaran Konstan

Full Load			80%			60%		
No	X	Y	No	X	Y	No	X	Y
21	-40.6333	13.79414	35	-40.8282	13.09732	32	-40.6444	12.65533
22	-39.6621	14.39963	36	-40.2683	13.42331	33	-40.0249	13.00482
23	-38.6892	15.04167	37	-39.708	13.7603	34	-39.4049	13.3674
24	-37.7144	15.72274	38	-39.1474	14.1087	35	-38.7844	13.74361
25	-36.7377	16.44547	39	-38.5864	14.46894	36	-38.1635	14.13402
26	-35.7589	17.21272	40	-38.025	14.84149	37	-37.542	14.53923
27	-34.7778	18.02756	41	-37.4632	15.22679	38	-36.9201	14.95983
28	-33.8101	18.87883	42	-36.901	15.62531	39	-36.2976	15.39644
29	-32.8681	19.75556	43	-36.3384	16.03754	40	-35.6745	15.84984
30	-31.9498	20.65825	44	-35.7753	16.46406	41	-35.0506	16.32074
31	-31.0523	21.58857	45	-35.2117	16.90542	42	-34.426	16.8098
32	-30.1701	22.55011	46	-34.6475	17.36214	43	-33.8008	17.31774
33	-29.3034	23.54521	47	-34.0827	17.83473	44	-33.1748	17.84532
34	-28.4464	24.57903	48	-33.5174	18.32381	45	-32.548	18.39332
35	-27.5987	25.65204	49	-32.9515	18.82997	46	-31.9205	18.96252
36	-26.7564	26.76986	50	-32.3875	19.35149	47	-31.2921	19.55369
37	-25.9199	27.93206	51	-31.8298	19.88436	48	-30.663	20.16763
38	-25.0891	29.13947	52	-31.2778	20.42921	49	-30.0346	20.80355
39	-24.263	30.39326	53	-30.733	20.98432	50	-29.4138	21.45482
40	-23.4419	31.69324	54	-30.1958	21.54916	51	-28.8007	22.11938
41	-22.6248	33.04018	55	-29.6641	22.12404	52	-28.1933	22.80257
42	-21.812	34.43302	56	-29.1362	22.71407	53	-27.5901	23.50439
43	-21.0025	35.87247	57	-28.6126	23.31707	54	-26.9915	24.2245
44	-20.1969	37.35582	58	-28.0943	23.93194	55	-26.3984	24.96176
45	-19.3953	38.88049	59	-27.5804	24.5594	56	-25.8102	25.71678

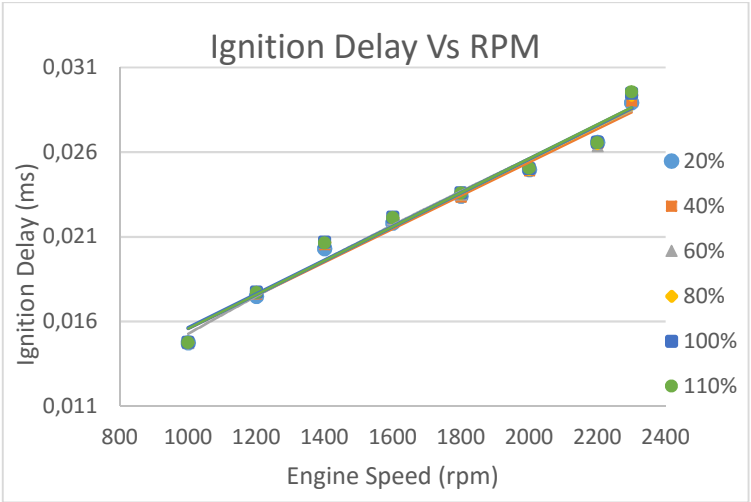
46	-18.5972	40.44495	60	-27.0695	25.20124	57	-25.2252	26.49155
47	-17.8031	42.01117	61	-26.5613	25.85799	58	-24.6428	27.28673
48	-17.0124	43.50176	62	-26.056	26.52918	59	-24.0637	28.10163
49	-16.2253	45.11881	63	-25.5535	27.215	60	-23.4875	28.93627
50	-15.4413	47.45786	64	-25.0531	27.91647	61	-22.9135	29.79166
51	-14.6599	49.87738	65	-24.5544	28.63399	62	-22.3414	30.66809
52	-13.881	52.12975	66	-24.0577	29.36716	63	-21.7716	31.56459
53	-13.1041	54.3312	67	-23.5634	30.11536	64	-21.2043	32.48022
54	-12.3293	56.60841	68	-23.0712	30.87884	65	-20.6392	33.41511
55	-11.5563	59.01751	69	-22.5806	31.65819	66	-20.0762	34.36872
56	-10.7851	61.57047	70	-22.0915	32.45343	67	-19.5157	35.3397
57	-10.0155	64.26322	71	-21.604	33.26406	68	-18.9575	36.32728
58	-9.24706	67.08714	72	-21.1182	34.08969	69	-18.4014	37.33061
59	-8.47973	70.02923	73	-20.6339	34.93028	70	-18	38.06661
60	-7.71194	73.07941	74	-20.1515	35.78473	71	-17.448	39.01805
61	-6.94404	76.21743	75	-19.6712	36.65205	72	-16.8974	39.97894
62	-6.17582	79.42262	76	-19.1927	37.53224	73	-16.349	40.98747
63	-5.407	82.67205	77	-18.7158	38.42496	74	-15.8026	42.31463
64	-4.63766	85.93898	78	-18.2405	39.32954	75	-15.2578	43.77153
65	-3.86771	89.19565	79	-18	39.79263	76	-14.7146	45.20398
66	-3.09714	92.41275	80	-17.5277	40.63802	77	-14.1731	46.57278
67	-2.32583	95.56052	81	-17.0564	41.49071	78	-13.6332	47.90056
68	-1.55365	98.60913	82	-16.5864	42.34884	79	-13.0946	49.22817
69	-0.7805	101.5292	83	-16.118	43.37693	80	-12.5573	50.58342
70	-0.00624	104.2925	84	-15.6507	44.66956	81	-12.0213	51.9811
71	0.769222	106.8721	85	-15.1845	46.03528	82	-11.4864	53.42672
72	1.545946	109.2436	86	-14.7196	47.36511	83	-10.9527	54.92104
73	2.323949	111.4679	87	-14.2559	48.63567	84	-10.42	56.46225
74	3.103771	113.5561	88	-13.7933	49.8645	85	-9.88848	58.04751



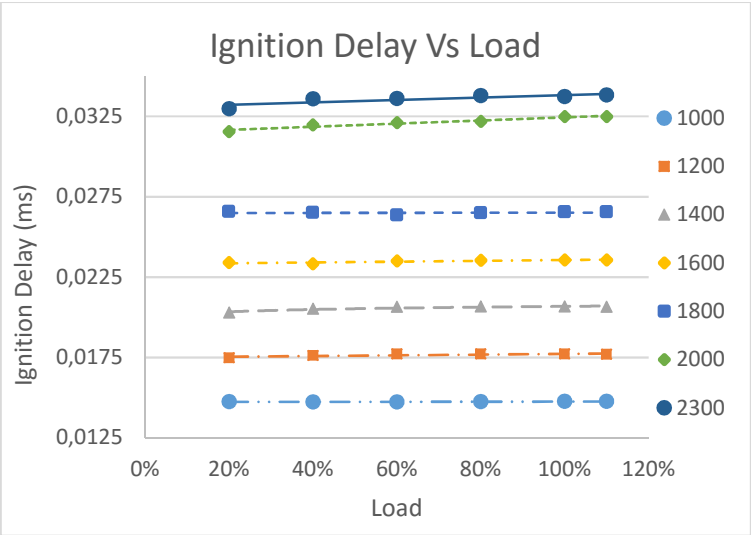
**Gambar 1.7** Grafik Tekanan terhadap CA pada variasi beban

### 1.3.6. Ignition delay

No	RPM Load	1000	1200	1400	1500	1600	1700	1800	2000	2200	2300
1	20%	0.014752	0.017474	0.020294	0.021814	0.023395	0.024964	0.026558	0.028913	0.031547	0.032968
2	40%	0.014728	0.017610	0.020514	0.022027	0.023328	0.024882	0.026514	0.029005	0.031972	0.033584
3	60%	0.014726	0.017711	0.020645	0.022038	0.023496	0.025012	0.026342	0.029492	0.032108	0.033599
4	80%	0.014744	0.017711	0.020667	0.022077	0.023532	0.024977	0.026494	0.029350	0.032183	0.033795
5	100%	0.014762	0.017710	0.020658	0.022140	0.023569	0.025006	0.026551	0.029447	0.032473	0.033717
6	110%	0.014760	0.017697	0.020634	0.022120	0.023570	0.025054	0.026545	0.029533	0.032488	0.033825



**Gambar 1.8** Ignition Delay terhadap putaran pada variasi beban



**Gambar 1.9** Ignition Delay terhadap beban pada variasi putaran



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan maka di dapat kesimpulan yaitu :

Dari pemodelan marine diesel 93 kW didapatkan bahwa maksimum *brake torque* berada pada putaran 1600 rpm dengan torsi sebesar 446.47 Nm. Brake power yang dihasilkan mempunyai tren dengan nilai daya terendah adalah 42.24 kW pada putaran 1000 rpm, dan memiliki nilai daya tertinggi sebesar 96.37 kW pada putaran 2200 rpm. Dalam prediksi ini SFOC yang dihasilkan model menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar terhemat terjadi pada putaran 1700 rpm dengan pemakaian bahan bakar 228.24 gr/kWh. *Brake mean effective pressure* yang dihasilkan dari simulasi model motor diesel menunjukkan bahwa bmep tertinggi beradan di putaran 1600 rpm dengan tekanan efektif rata-rata sebesar 14.30 bar. Tekanan tertinggi pada silinder terjadi pada beban 100% (*full load*), nilai tekanan tertinggi adalah 120.05 bar pada *crank angle* 8.63°CA ATDC. Dan heat release yang terjadi mempunyai nilai terbesar adalah 0.0284 j/kg/CA terjadi pada 7.52 °CA ATDC.

#### **5.2 Saran**

1. Masih perlu dilakukan kajian lanjutan terhadap emisinya.
2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang *retrofitting turbocharge*, dengan dimensi mesin yang sama tetapi dengan turbo charge yang berbeda dapat menghasilkan

tenaga yang lebih besar untuk mengakomodasi kapal dengan tonase yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah, Y.P., 2013, "*Studi Perbandingan Performa Motor Diesel dengan Bahan Bakar Solar dan Palm Methyl Ester Berbasis Pada Simulasi*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Aydogan, H. 2015. "*Prediction of Engine Performance, Emissions and Culinder Pressure Obtained Using Bioethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blends Through an Arifical Neural Network*", 26, 74-83.
- Bagci E., 2009, "*Reverse Engineering Application for Recovery of Broken or Worn Parts and Remanufacturing: Three Case Studies, Advances in Engineering Software*". 40, 407-418.
- Fauzie, F., 2014. "*Analisa Tegangan Piston dan Connecting Rod pada Motor Diesel 4 Langkah 93 kW*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Gamma Technologies, 2009. GT-POWER User's Manual Version 7.0, Gamma Technologies Inc.
- Nugraha, D.G., 2014. "*Perancangan Sistem Start pada Mesin Diesel*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Nurbekti, J.A., Fathallah, A.Z.M., dan Soeprajitno, T., 2014. "*Analisa Pengaruh Tekanan dan Temperatur Ruang Bakar Terhadap Tegangan Pada Silinder Liner Motor Diesel 4 Langkah 93 kW*", 2, 1-5.
- Paridawati, 2014, "*Optimasi Efisiensi Motor Bakar Sistem Injeksi Menggunakan Metode Simulasi Artificial Neural Network*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.

- Pradana, D.R., 2014. "*Analisa Karakteristik Sistem Bahan Bakar Mesin Reverse engineering*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Pranggapati, A., 2014. "*Analisa Pengaruh Tekanan dan Temperatur Ruang Bakar Terhadap Tegangan Pada Silinder Head Motor Diesel 4 Langkah 93 kW*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Rachmawan, A.P., 2014. "*Analisa Pengaruh Flywheel dan Firing Order Terhadap Proses Kerja Mesin Diesel*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Riegler, U.G., Bargende, M., 2002. "*Direct coupled 1D/3D-CFD-Computation (GT-Power/Star-CD) of the Flow in the Switch-over Intake System of an 8-Cylinder SI Engine with External Gas Cylinder Recirculation*", SAE Paper 2002-01-0901.
- Semin. Rosli, A.B. & Abdul. R.I. 2008. "*Investigation of Diesel Engine Performance Based on Simulation*". 5, 610-617.
- Silaban, R. T., 2014. "*Analisa Pengaruh Temperatur dan Thermal Stress dari Katup Inlet dan Exhaust pada Motor Diesel 4 Langkah 93 kW*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Suroso, N., 2014. "*Analisa Teknik Perbandingan Timing Gear, Timing Belt, dan Timing Chain pada Mesin Diesel Reverse Engineering*", Skripsi, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Wibowo, Dwi B., 2006. "*Memahami Reverse Engineering Melalui Pembongkaran Produk Di Program S-1 Teknik Mesin*", Jurnal Traksi, 4, 20-21.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Brondong, Kab. Lamongan, Jawa Timur pada tanggal 31 Maret 1993. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara keluarga pasangan Bapak Suwarno dan Ibu Insiyah. Telah menempuh pendidikan formal di SDN Brengkok I, SMP Negeri 1 Babat, SMK Telkom Sanhy Putra Malang. Melanjutkan studi Diploma-3 sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011 dan telah menyelesaikan studi pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan studi Strata-1 melalui program lintas jalur sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Penulis menyelesaikan skripsi di Bidang Marine Power Plant (MPP).